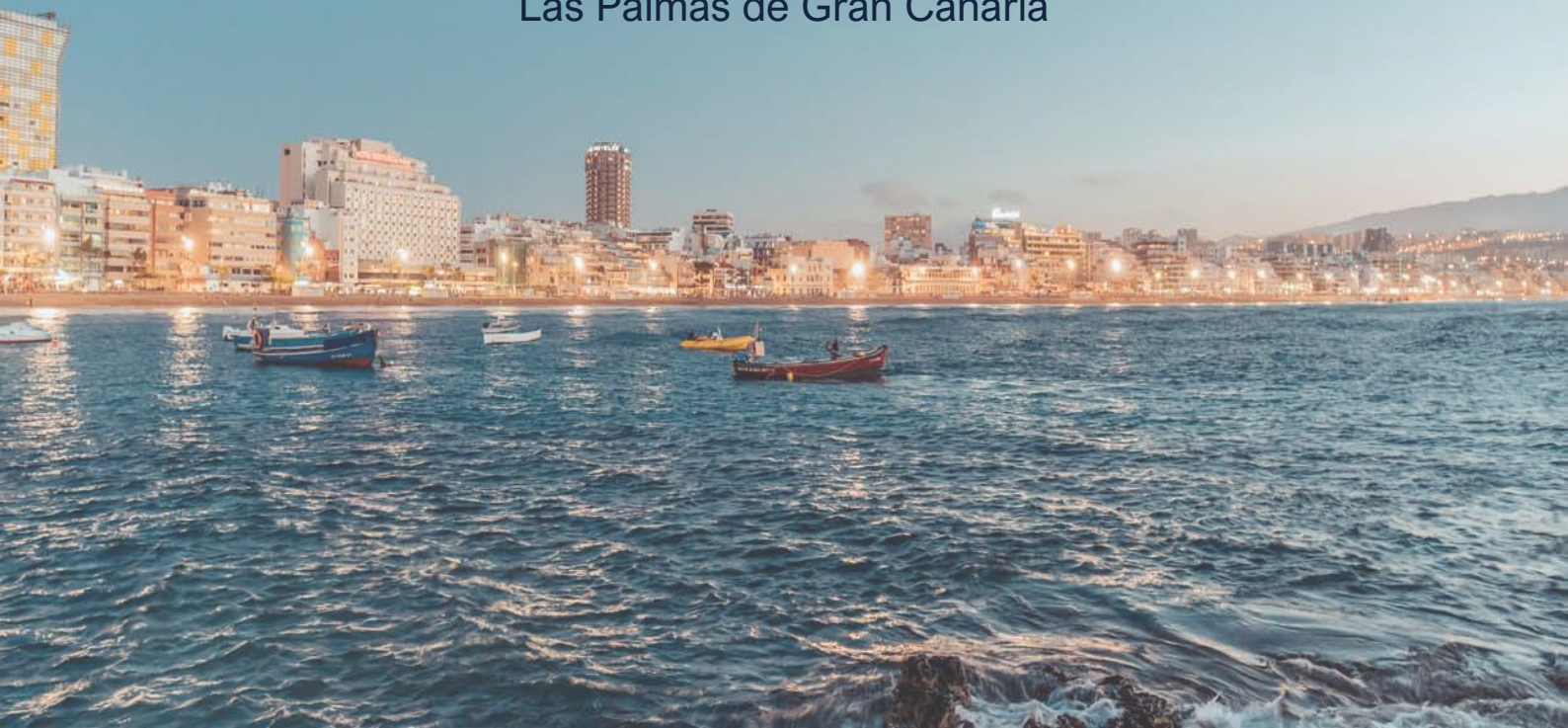


Programa Detallado y Libro de Resúmenes

IX Reunión del Capítulo Español de la
Sociedad Europea de Biomecánica
(ESB)

24 y 25 de octubre de 2019

Las Palmas de Gran Canaria



Evaluación y comparación de manos protésicas de impresión 3D mediante el Anthropomorphic Hand Assessment Protocol (AHAP)

Immaculada Llop Harillo¹, Antonio Pérez González¹, Jesús Cantero Ramis¹, F. Javier Andrés¹

¹ Universitat Jaume I (UJI), Castellón, España, illop@uji.es

Introducción

El diseño y fabricación de prótesis por impresión 3D ha tenido un importante crecimiento en los últimos años debido a su bajo coste y su mayor accesibilidad¹. Organizaciones como *Enabling the future* (e-NABLE)² trabajan por todo el mundo para facilitar este tipo de prótesis a niños y usuarios con pocos recursos.

El problema de estas prótesis es que han sido creadas para cubrir una necesidad de la manera más fácil y rápidamente posible, sin analizar y mejorar su funcionalidad para realizar actividades de la vida diaria (ADLs). Esto en parte se debe a que el aumento de los diseños no ha ido acompañado de un desarrollo paralelo de métodos objetivos que evalúen su funcionamiento. Su evaluación se basa en protocolos o cuestionarios diseñados específicamente³. Pocos son los trabajos^{4,5} que han utilizado protocolos más ampliamente conocidos en el ámbito de la mano humana como el *Box and Block test* o el *SHAP*.

El Anthropomorphic Hand Assessment Protocol (AHAP)⁶ es un benchmark definido por los autores mediante el cual se mide la capacidad manipulativa de manos artificiales antropomorfas mediante la realización de 26 tareas. El AHAP permite cuantificar de manera numérica tanto el antropomorfismo como la funcionalidad de las prótesis a través del Grasping Ability Score (GAS).

El objetivo del presente estudio es comparar diferentes prótesis fabricadas mediante impresión 3D a través de su GAS y destacar las dificultades que presentan para realizar los agarres más comunes en las ADLs.

Material y métodos

En este estudio se utilizó el AHAP⁶ como método de evaluación de la funcionalidad y antropomorfismo de prótesis de mano. Este protocolo se divide en 26 tareas que incluyen los tipos de agarres más relevantes en las ADLs: *pulp pinch* (PP), *lateral pinch* (LP), *diagonal volar grip* (DVG), *cylindrical grip* (CG), *extension grip* (EG), *tripod pinch* (TP), *spherical grip* (SG) y *hook* (H); y dos posturas de no agarre: *platform* (P) y *index pointing/pressing* (IP). Para obtener la puntuación (GAS) de cada prótesis el protocolo AHAP tiene en cuenta tanto el correcto posicionamiento de la mano en el agarre como su estabilidad tras girar la mano 180°.

Las prótesis de mano que se evaluaron en el presente estudio son todas actuadas por tendones (hilos de nylon). Para poder realizar el AHAP con sujetos sanos fue necesario la utilización de un adaptador diseñado específicamente (*able-bodied adaptor*, ABA). El ABA es un diseño mejorado respecto a su versión anterior⁷. Se ajusta al antebrazo del sujeto sano y permite el

control de la prótesis tirando mediante anillas de hasta seis tendones. El ABA tiene incorporados seis potenciómetros lineales conectados a una placa de Arduino Mega 2560 para registrar el desplazamiento de los tendones y poder hacer análisis posteriores de sinergias.

Las diferentes prótesis utilizadas en el presente estudio son diseños abiertos, disponibles online y se han fabricado mediante impresión 3D (Figura 1):

- IMMA Hand⁷: prototipo de mano protésica diseñada por los autores. Tiene seis tendones para la flexión de los cinco dedos y abducción del pulgar. Los materiales utilizados para su impresión son diferentes mezclas de PLA y TPU según la rigidez y coeficiente de fricción deseado en cada zona de la mano.
- Mano de Limbitless arm⁸ (versión pulgar 45°): primer diseño de prótesis mioeléctrica disponible en e-NABLE², con cinco tendones (flexión dedos) e impresa con PLA (material rígido).
- Dextrus 2.0⁹: diseño de mano para impresión con material flexible (NinjaFlex® 35% relleno) y con cinco tendones (flexión dedos).
- Inmoov¹⁰: prótesis con cinco tendones (flexión dedos) con articulaciones adicionales en los dedos meñique y anular cercanas al centro de la palma para poder realizar el arqueado palmar. Mano impresa con PLA (material rígido).

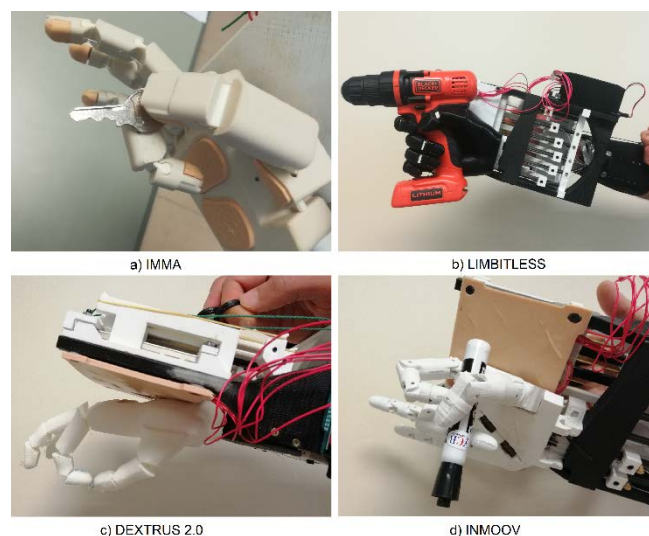


Figura 1: Prótesis de impresión 3D realizando el AHAP.

Los ensayos del AHAP se han realizado con las cuatro prótesis descritas anteriormente, actuadas mediante el ABA por tres sujetos sanos diferentes, con la misma experiencia de uso. Todos sus tendones han sido actuados independientemente, sin tener en cuenta su método de actuación original.

Resultados y discusión

La Tabla 1 muestra los resultados obtenidos mediante la puntuación GAS definida en el AHAP. Además, incluye el desglose de esta puntuación correspondiente a las dos partes en las que consiste el protocolo, agarrar y mantener.

Tabla 1: Puntuación de las prótesis obtenida en el AHAP

Mano	Agarrar (%)	Mantener (%)	GAS (%)
IMMA	77 ± 1	37 ± 4	57 ± 2
Limbitless	63 ± 2	37 ± 4	50 ± 3
Dextrus	62 ± 3	34 ± 6	48 ± 4
Inmoov	57 ± 1	40 ± 1	48 ± 1

Estos resultados indican que las cuatro manos analizadas están por debajo del 60% en cuanto a capacidad manipulativa respecto de la mano humana (100%). Hay que tener en cuenta que han sido actuadas con todos sus tendones y por un sujeto humano sano, es decir, sin tener en cuenta su sistema de actuación y control original. La diferencia respecto de la mano humana se atribuye a factores como un bajo coeficiente de fricción en los materiales que están en contacto con los objetos, la cinemática de los dedos y la oposición del pulgar. Resulta relevante que en la parte del protocolo correspondiente al correcto posicionamiento de la mano en el agarre se ha obtenido una puntuación por encima del 55% en todas ellas alcanzando un 77% en la mano IMMA. Sin embargo, la puntuación obtenida en la parte correspondiente a la estabilidad del agarre está por debajo del 40% en todas las manos, siendo la más baja la de la mano Dextrus 2.0 con un 34%.

La Figura 2 muestra el GAS parcial para cada agarre típico en ADLs, para cada mano ensayada.

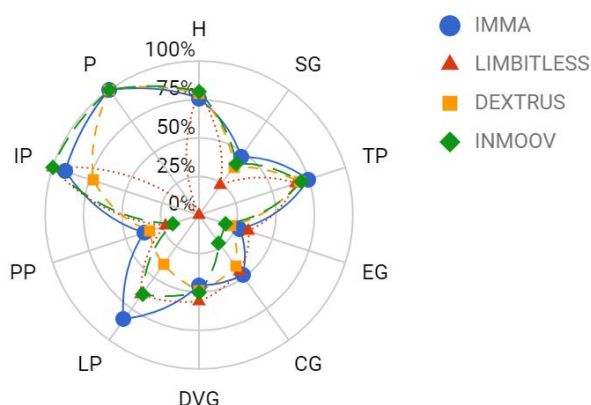


Figura 2: GAS promedio agrupado por tipos de agarre obtenido por cada prótesis mediante el AHAP.

Se observa que la postura *platform* puede ser realizada perfectamente (100%) por todas las manos excepto la Limbitless (0%) debido a la disposición de su pulgar. La postura *index pointing/pressing* necesitaría por ejemplo para escribir con un teclado es la que mejores resultados ha obtenido en promedio de las cuatro manos analizadas, seguida del agarre tipo *hook* y del *tripod pinch*, con valores por encima del 70%. Sin embargo, el GAS parcial de los agarres

extension grip y *pulp pinch* está por debajo del 30%. En el caso del EG este bajo resultado se atribuye a la dificultad para mantener extendidos los segmentos distales del dedo y flexionar sólo la articulación metacarpofalángica. Para evitar esto sería necesario disponer de tendones extensores actuando de forma complementaria o diseñar las articulaciones con diferente resistencia al giro. En el caso del PP la problemática aparece por las limitaciones para la correcta oposición entre el pulgar y el dedo índice, dependiente de la orientación de los ejes del rotación del pulgar. Las diferencias que se muestran entre las manos analizadas en el agarre *lateral pinch* también se deben al diseño realizado para la oposición del pulgar, pero en este caso respecto a la parte radial en vez de palmar del dedo índice. La orientación y movilidad del pulgar también influye en un bajo antropomorfismo a la hora de realizar el *diagonal volar grip*. En cuanto al *spherical grip* y *cylindrical grip*, la problemática aparece en la máxima fuerza de agarre que se puede ejercer, debido a las pérdidas producidas por el rozamiento del tendón con sus conductos de paso, y del coeficiente de fricción de los materiales que están en contacto con los objetos.

Conclusión

Con este estudio se ha realizado una comparativa entre diferentes prótesis de mano de bajo coste, viendo que en términos generales los agarres más problemáticos son el *extension grip*, *pulp pinch*, *spherical grip* y *cylindrical grip*.

Como conclusión cabe decir que aún queda un amplio trabajo a realizar en este campo para mejorar este tipo de prótesis, especialmente en lo relacionado a su estabilidad en el agarre y funcionalidad.

Futuros trabajos irán enfocados a analizar las posibles sinergias en el movimiento de los diferentes dedos al realizar los agarres típicos en ADLs para proponer la opción óptima de actuación de estas manos.

Agradecimientos

Se agradece la financiación del Ministerio de Economía y Competitividad, AEI, FSE y FEDER a través de las ayudas a los proyectos DPI2014-60635-R, DPI2017-89910-R y al contrato predoctoral BES-2015-076005. Asimismo, se agradece la financiación de la Universitat Jaume I para el proyecto UJI-B2017-70.

Referencias

- [1] Ten Kate J. *et al.*, Disabil Rehabil Assist Technol 12(3):300-314, 2017
- [2] e-NABLE, <http://enablingthefuture.org/>
- [3] Lindner H.Y.N. *et al.*, Prosthet. Orthot. Int., 2010
- [4] Duong T. *et al.*, J. Prosthetics Orthot., 2017
- [5] Belter J.T. *et al.*, Proc. IEEE RAS EMBS, 2016
- [6] Llop-Harillo I. *et al.*, Robot Auton Syst <https://doi.org/10.1016/j.robot.2019.103259>
- [7] Llop-Harillo I. *et al.*, Intl Biomech 4(2):50-59, 2017
- [8] Limbitless solutions, <https://limbitless-solutions.org/>
- [9] J. Gibbard, <http://www.openhandproject.org/downloads.php>
- [10] G. Langevin, <http://inmoov.fr/hand-and-forarm/>